

面向新质生产力的物流机器人技术融合研究^{*}

汪传雷, 杨依婉, 秦 琴

(安徽大学 商学院, 安徽 合肥 230601)

摘要:新质生产力浪潮下中国产业转型升级, 机器人的智能化、网络化、交互化发展加速物流行业提质降本增效减碳步伐。分析物流机器人的技术融合趋势对于把握技术方向、激发技术创新具有重要意义。基于大为全球专利数据库(daweisoft.com)中物流机器人授权专利数据, 利用隐含狄利克雷分布(Latent Dirichlet Allocation, LDA)主题模型对专利摘要文本进行主题分类; 再通过余弦相似度挖掘主题演化路径; 最后运用社会网络指标挖掘物流机器人技术融合趋势。研究发现物流机器人专利技术融合趋于小世界态势, 未来物流机器人领域技术发展趋向于集成化和多元化, 建议承前启后强化技术主题发展、跨界融通深化跨领域技术融合、齐心协力加速产学研合作进程, 助力物流机器人高质量发展。

关键词:技术融合; LDA 模型; 社会网络分析; 物流机器人

中图分类号:G306.0

文献标志码:A

文章编号:1672-0598(2025)03-0096-16

一、引言

2023 年 9 月习近平总书记在黑龙江省考察调研期间提出, “整合科技创新资源, 引领发展战略性新兴产业和未来产业, 加快形成新质生产力”^[1]; 新质生产力的内涵特征之“新”涉及核心动力、生产载体、目标旨意^{[2][3]}。《“十四五”机器人产业发展规划》指出要抢占科技产业竞争的前沿和焦点, 离不开作为新兴产业的机器人产业^[4]。机器人技术作为推进智能制造的重要载体和关键支撑, 在引领产业数字化发展、孕育新产业新模式新业态中发挥着重要作用。新质生产力代表生产力的一次跃迁, 由新型劳动者、新型劳动资料、新型劳动对象构成。其中, 新型劳动者包括利用现代技术、适应高端先进设备、具有知识快速迭代能力的劳动者及人机交互型机器人等^[5]。机器人的高敏捷性、部署简便、自重轻便特点使其能应对范围大、场景多、动态高的环境挑战, 减轻人工负担甚至代替一部分劳动力工作, 降低人力成本和安全风险, 提升生产效率。新型劳动资料与精密仪器、智能设备相关^[6], ChatGPT 引领大模型浪潮下以工业机

^{*} 收稿日期: 2024-02-27

基金项目:安徽省创新发展研究课题(2023ZD008)“新兴产业跨界融合与集群发展趋势下, 推动安徽产业链延链补链强链研究”

作者简介:汪传雷(1970—), 男, 安徽黟县人; 博士, 安徽大学商学院教授, 主要从事物流新质生产力、供应链创新研究。

杨依婉(2000—), 女, 湖北天门人; 安徽大学商学院硕士研究生, 主要从事物流与供应链研究。

秦琴(1996—), 女, 安徽六安人; 博士, 安徽大学商学院讲师, 主要从事科技信息分析研究。

本文引用格式:汪传雷, 杨依婉, 秦琴. 面向新质生产力的物流机器人技术融合研究[J]. 重庆工商大学学报(社会科学版), 2025, 42(3): 96-111.

机器人、高性能存储设备、智能传感器等为代表的新型劳动资料加速生产形式由“劳动密集型”向“智能化”转变,助力加快形成新质生产力。同时,物流业作为先导性、基础性、战略性的产业,涉及生产、分配、交换等各个社会再生产环节,加速与人工智能、大数据等新技术要素深度融通,智慧物流大脑、物流大模型、数字仓储、智能驾驶等颠覆物流方式,为新质生产力的要素组合优化、循环联动等提供强有力的网络支撑。其中,物流机器人通过创新提升装备自动化和智能化水平助力企业数字化转型,有效应对劳动力成本持续攀升境况。专利作为物流机器人技术创新特别是颠覆式创新成果之体现,是物流机器人领域与其他领域渗透融汇、触发新业态新模式,进而培育壮大新质生产力的必然。鉴于此,洞察中国物流机器人领域专利数据,挖掘其技术融合境况,理清其技术发展脉络,对应施策锻长板补短板,促进高质量发展。

二、相关文献综述

基于专利数据库研究领域技术是学者们关注的重点,以国际专利分类号(International Patent Classification, IPC)、专利引文、专利关键词等作为文本分析来源,挖掘专利文献的领域知识。技术融合能激发领域创新,是专利数据研究主题的热点。技术融合的概念最初是基于不同产业出现类似的技术现象而提出,随后延伸演变出技术交叉、技术汇聚等概念^[7]。目前具体技术融合的研究主要集中在测量技术融合程度及预测趋势、技术融合演化分析、基于技术融合的技术机会发现和识别等。

(一) 技术融合测量及预测

技术融合态势离不开对技术融合的测度及预测。早期梁伟军和易法海(2009)^[8]利用赫芬达尔指数法测度农业与生物产业的技术融合;黄鲁成等(2014)^[9]借助数据挖掘的关联分析方法探索信息和生物技术的融合及趋势;李树刚等(2019)^[10]结合IPC与ISI(The Institute for Scientific Information)分类体系方法,利用差分整合移动平均自回归模型(Autoregressive Integrated Moving Average Model, ARIMA)预测人工智能领域技术融合分散趋势;张金柱和李溢峰(2022)^[11]提出基于专利分类序列和文本语义表示的预测方法以提高技术融合预测效果;何建佳等(2023)^[12]运用链路预测模型分析长三角地区智能汽车技术融合现状及趋势;许杰等(2023)^[13]基于动态图自适应神经网络(Dynamic graph Self-Attention neural network, DySAT)模型建立时序动态技术融合预测框架进行预测;祝娜等(2023)^[14]扩充链路预测方法,构建深度学习模型预测技术融合并验证其可行性。可见,学者多基于数学模型和算法进行技术融合测量及预测。

(二) 技术融合演化规律分析

技术融合作为一个动态变化的过程,在不同阶段展现不同的特征。Euiseok等(2014)^[15]基于专利运用社会网络分析法探索1976—2012年印刷电子的技术构成要素,引入网络中心度等揭示技术趋同的融合模式;翟东升和张京先(2020)^[16]基于专利技术共现网络分析方法从宏观、中观、微观3个层面构建框架,揭示无人驾驶技术融合演化规律;王康和陈悦(2021)^[17]在专利共类方法基础上引入突变检测算法,探测生物芯片领域融合演化;李慧等(2021)^[18]利用专利IPC分类号构建有向知识流网络探索不同阶段的石墨烯领域融合规律;贾怡炜等(2022)^[19]利用文本挖掘技术剖析人工智能与车联网技术融合演化特征进而挖掘技术热点;Siyeong等(2022)^[20]利用字典和序列模式挖掘专利数据,确定生物医疗保健行业的技术演变模式并预测技术发展。可见,学者多结合具体行业或领域分析技术融合以探究演化规律。

(三) 基于技术融合的技术机会发现

技术融合对未来技术具有催化作用,可以识别新兴技术。周磊等(2018)^[21]基于知识联接创新角度利用技术知识流分析方法探析光纤通信产业专利的新兴技术;慎金花等(2019)^[22]基于LDA主题模型发掘技术主题,通过IPC共现网络方法构建指标评估融合价值进而生成技术融合预测网络,分析社群网络

主题词探究未来技术机会;韩芳等(2021)^[23]在 LDA 主题模型基础上应用饶斯特林指数(Rao-Stirling),结合文本分析法进行技术融合识别太阳能光伏领域的创新性技术;Teng 等(2021)^[24]基于监督机器学习方法挖掘文本,通过主成分分析法二维可视化专利关键词。可见,学者多基于具体方法探究技术融合以发现技术机会。

综上,基于专利数据的技术融合的研究日益丰富,越来越多学者倾向于采用 LDA 模型等文本挖掘方法探析技术融合。但是,现有研究对物流装备领域研究不多,如刘立等(2023)^[25]运用专利数据分析智能物流技术跨领域融合的多种模式,并基于局部相似性预测融合趋势。具体涉及物流机器人领域的研究少见,而利用 LDA 模型方法挖掘技术融合趋势的研究更是寥寥无几。因此,基于 LDA 主题模型和社会网络分析法,以检索专利数据库中 1990—2021 年物流机器人专利文本数据作为研究对象,揭示物流机器人领域技术融合在不同时间阶段的演化场景,挖掘技术主题演化趋势和关键技术变化规律,助力物流机器人新质生产力壮大。

三、研究设计

(一) 研究思路

以大为专利数据库(daweisoft.com)物流机器人专利文献摘要为文本信息来源,运用 Python 11 和 Ucinet6.0 环境进行数据分析。首先,采集物流机器人专利数据,开展描述性统计分析,划分时间阶段;其次,清洗与预处理数据获取专利关键词文本;再次,挖掘专利关键词文本,生成主题及其主题词文档,描述不同时间阶段主题特点,构建主题词整体共现矩阵和个体共现矩阵;最后,结合共现矩阵开展整体网络特征分析,计算不同时间阶段关键词文本向量考察文本间相似性,借助桑基图可视化其主题演化过程,探究个体网络节点特征,挖掘技术融合趋势。构建思路框架见图 1。

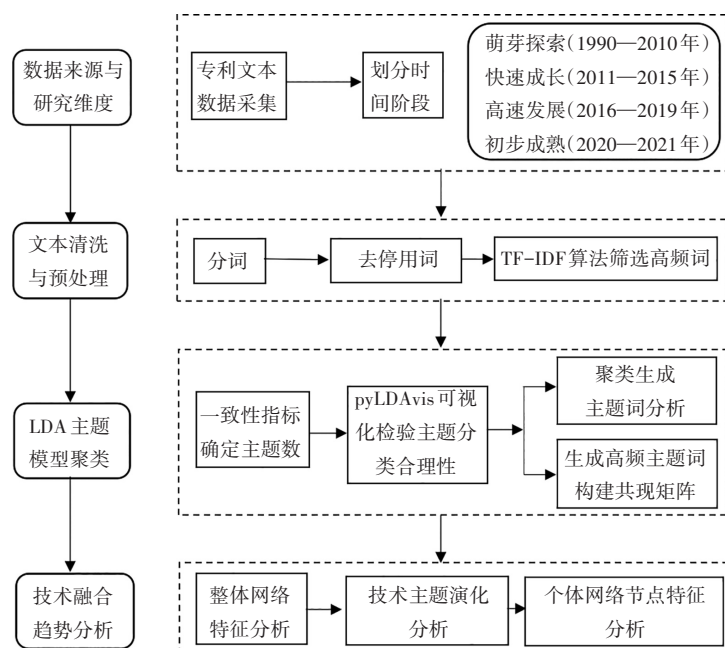


图 1 研究框架

(二) 研究方法

1. LDA 主题模型

LDA 主题模型是一种运用算法对文档语料进行语义分析,以发现文档潜在主题的统计模型^[26]。作

为一种典型的概率主题模型,LDA 主题模型包括文档层、主题层和主题词层,文档都与主题相关联,每个主题对应一个概率分布,且每个主题均由一组主题词构成,每个主题词在主题中有对应出现的概率。LDA 模型的主要目标是确定文档合集中隐藏的主题,并为每个文档分配一个或多个主题,以把握文档语句的结构。LDA 模型认为一篇文档以一定概率由多个主题构成,其分布记为 $P(z)$,而每个主题又以一定概率由一组主题词 d 构成,其分布记为 $P(w|z)^{[27]}$,则一篇文本文档中生成每个单词的概率分布 $P(\omega_i)$ 为:

$$P(\omega_i) = \sum_{j=1}^T P(\omega_i | z_i = j) P(z_i = j) \quad (1)$$

2. 社会网络分析

社会网络分析是借助关系网络结构分析行动者及其相互间关系的一种研究模式^[28],主要揭示网络的结构、关系和模式,以理解社会网络中的复杂互动,较多应用于情报、网络舆情等领域。社会网络分析包括整体网络分析和中心性分析,其中中心性分析又分为特征向量中心性、点度中心性、中介中心性。特征向量中心性是从整体网络角度考虑,计算某个点在整体网络中的影响力,其值越大,在网络中影响力越大;点度中心性衡量网络节点的影响力,其值越大,节点越居于网络中心;中介中心性衡量某个节点作为媒介的能力,其值越大,节点在网络中越重要。

(三) 样本选择与描述

考虑到专利数据来源的多样性,为了最大程度保证其样本的整体性和连贯性,选择大为全球专利搜索引擎数据库作为专利文献的来源^[29],该数据库收录了 105 个国家/地区组织的 1.5 亿条专利信息,数据完整,平台功能强。目前关于物流机器人在领域内还未形成明确的定义,借鉴李智博等^[30]、徐晓璇^[31]等将物流机器人定义为应用于仓储、运输、包装等物流领域,完成搬运、分拣、码垛等工作的机器人。依据物流应用场景和功能,参考袁浩^[32],将物流机器人分为五大类:自动引导车(Automated Guided Vehicle, AGV)、码垛机器人、分拣机器人、自主移动机器人(Autonomous Mobile Robot, AMR)、有轨制导车辆(Rail Guided Vehicle, RGV)。结合灼鼎咨询《2022 中国物流移动机器人研究报告》^[33]和华经情报网《2022 年中国物流机器人行业分析》^[34]涵盖的范围制定检索策略,表达式为:AD=(1990 to 2023) and TI,ABST,CLM+=(AGV) or TI,ABST,CLM+=(自动引导车) or TI,ABST,CLM+=(自动导引运输车) or TI,ABST,CLM+=(AMR) or TI,ABST,CLM+=(自主移动机器人) or TI,ABST,CLM+=(码垛机器人) or TI,ABST,CLM+=(分拣机器人) or TI,ABST,CLM+=(拣选机器人) or TI,ABST,CLM+=(搬运机器人) or TI,ABST,CLM+=(无人叉车) or TI,ABST,CLM+=(无人搬运车) or TI,ABST,CLM+=(RGV) or TI,ABST,CLM+=(有轨制导车辆) and CLS=授权,以申请日 1990—2023 年作为时间跨度,专利状态为“授权”,地区选择“中国”,检索时间为 2023 年 9 月 20 日。提取专利号、摘要、申请日等信息,以年为单位对专利进行统计分析,物流机器人领域专利数量分布情况如图 2 所示。

专利技术生命周期演变与产品生命周期变化类似,基本包括产生、成长、成熟、消失 4 个过程,通过分析专利生命周期识别技术领域主题演化是较常用的专利定量分析方法^{[35][36]}。故结合中国物流机器人领域年度专利增长率划分技术主题演化阶段,如图 2:总体上看 1990—2019 年物流机器人专利数量呈现增长趋势,反映物流机器人愈发受重视。1991 年 AGV 系统首次应用于汽车行业,逐步开展对自动化立体库的研发与应用,但涉及技术研发的企业不多,1990—2010 年阶段是萌芽探索,专利数量处于低水平。2009 年《物流业调整和振兴规划》发布,考虑政策时滞效应,物流机器人专利数 2011 年较 2010 年增长 87.2%,实现一个阶段飞跃,代表进入快速成长阶段。随后的 2012 年全球电商平台亚马逊收购 Kiva,将仓储物流机器人推广应用于所属各仓库,溢出效应加快,AGV 成为中国企业

和物流企业的布局重点。2016 年《智能制造发展规划(2016—2020 年)》发布,强调应用人工智能、物联网等智慧化技术推动物流业发展^[37],物流机器人专利 2016 年较 2015 年增长 84.6%,并涌现出极智嘉、快仓等迅速壮大的仓储物流机器人公司,又实现一个阶段飞跃,代表进入高速发展阶段。步入 2020 年,虽有《推动物流业制造业深度融合创新发展实施方案》等政策跟进物流降本增效^[38],但物流机器人受到外部复杂环境波动导致产业链供应链受阻不畅之影响,专利数量较前期增长态势为下降状态,进入初步成熟阶段。

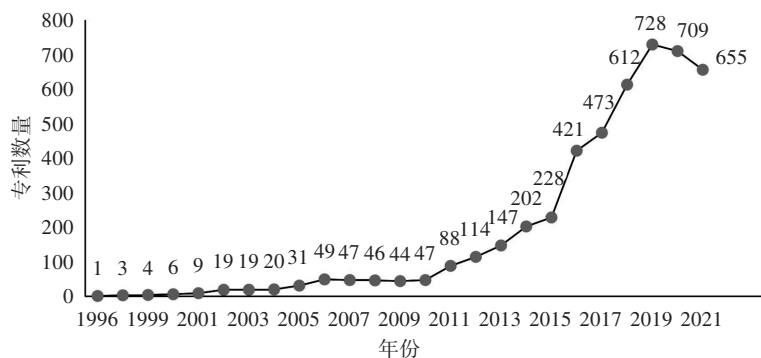


图 2 中国物流机器人历年专利数量变化

梳理物流机器人发展历程,截取到 1990—2021 年共 4 722 篇物流机器人专利文献,以此开展分析。

四、研究过程与分析

(一) 数据清洗和预处理

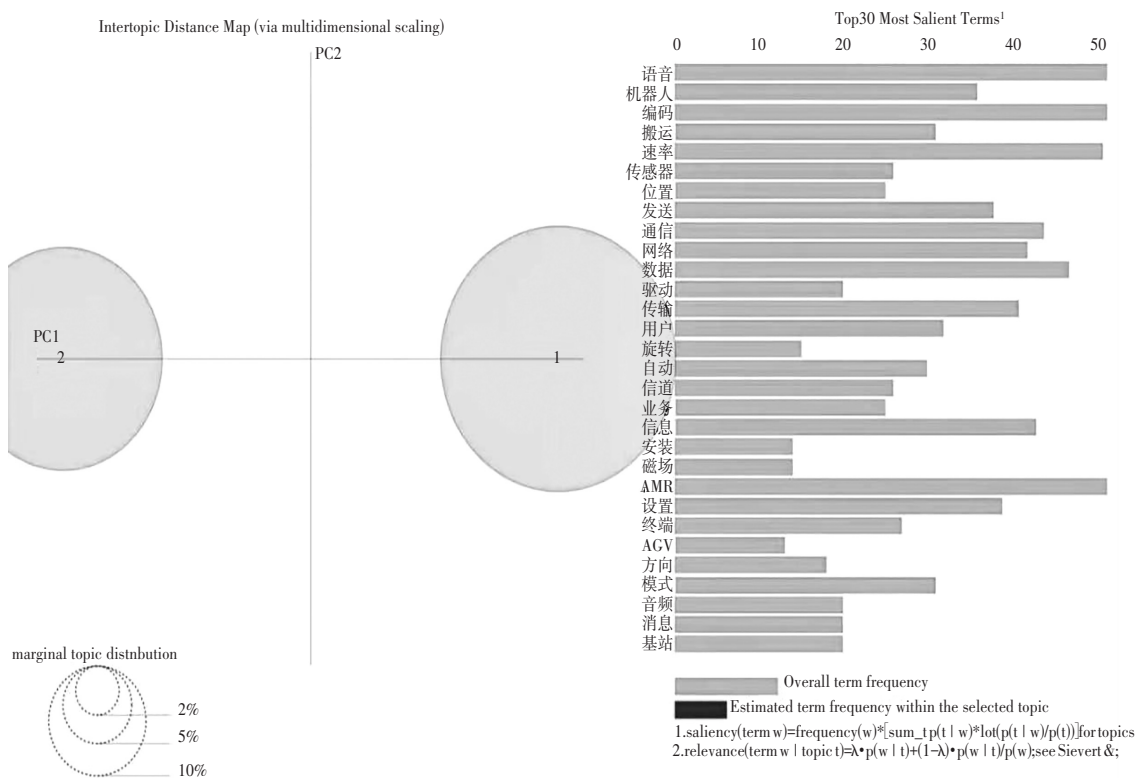
首先,过滤与专利文献文本无关的标点符号、数字等信息。其次,利用结巴中文分词工具包对文本进行分词处理,形成新的文本文档。再次,去停用词,即消除无信息词汇、代词、虚词等对研究的影响,如“一定”“而且”等;具体先添加“AGV”“AMR”等代码难以准确识别的词语于词库进行分词处理,再以哈尔滨工业大学停用词表为基准^[39],同时结合本文研究内容,添加“本发明”“申请”等无关词汇,建立自定义停用词表剔除与研究无关词汇。最后,词频筛选,利用 python 工具编写 TF-IDF(Term Frequency & Inverse Document Frequency)算法对 4 722 篇专利文献文本文档中的技术关键词进行词频统计和权重计算^[40],提炼高频技术关键词。

(二) 基于 LDA 的物流机器人专利主题聚类分析

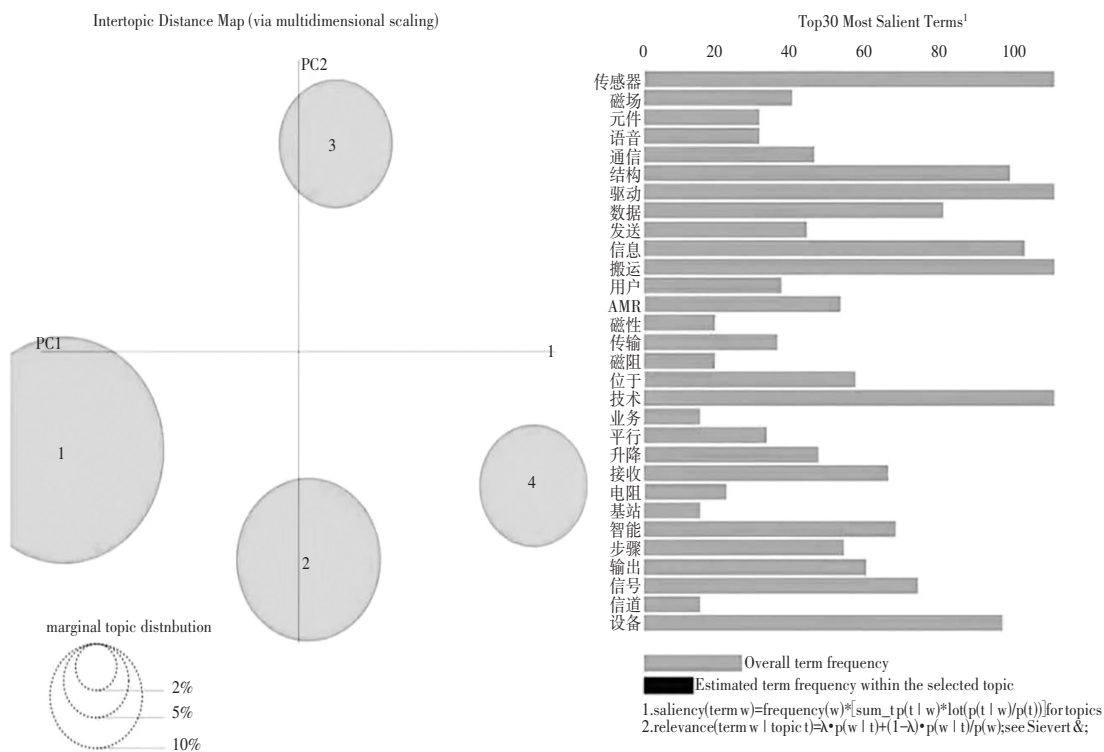
利用 python 工具对筛选的 4 722 篇文本文档中高频技术关键词建模,挖掘文本信息,基于 LDA 模型开展聚类分析得到主题聚类结果。主题聚类数目可以通过主题数目一致性得分和主题聚类图中气泡大小及其之间距离来确定。一致性得分是衡量主题模型质量的一个重要指标,即主题数一致性得分越高,文档划分的主题越具有可解释性,质量越高^[41];同时通过 pyLDAvis 工具包展示主题聚类结果,其中气泡表示主题,气泡大小表示其出现的频率,气泡之间的距离表示主题间相似程度,气泡越大且气泡距离越远,表明主题间相似程度越低。

计算 4 个时间阶段主题一致性得分,当主题数依次分别选择 2、4、4、3 时得分较高,同时通过 pyLDAvis 工具包展示主题聚类结果,见图 3(a)(b)(c)(d)。由图可知 4 个阶段的主题气泡间存在一定距离,没有主题间的重叠交叉,主题划分结果良好。

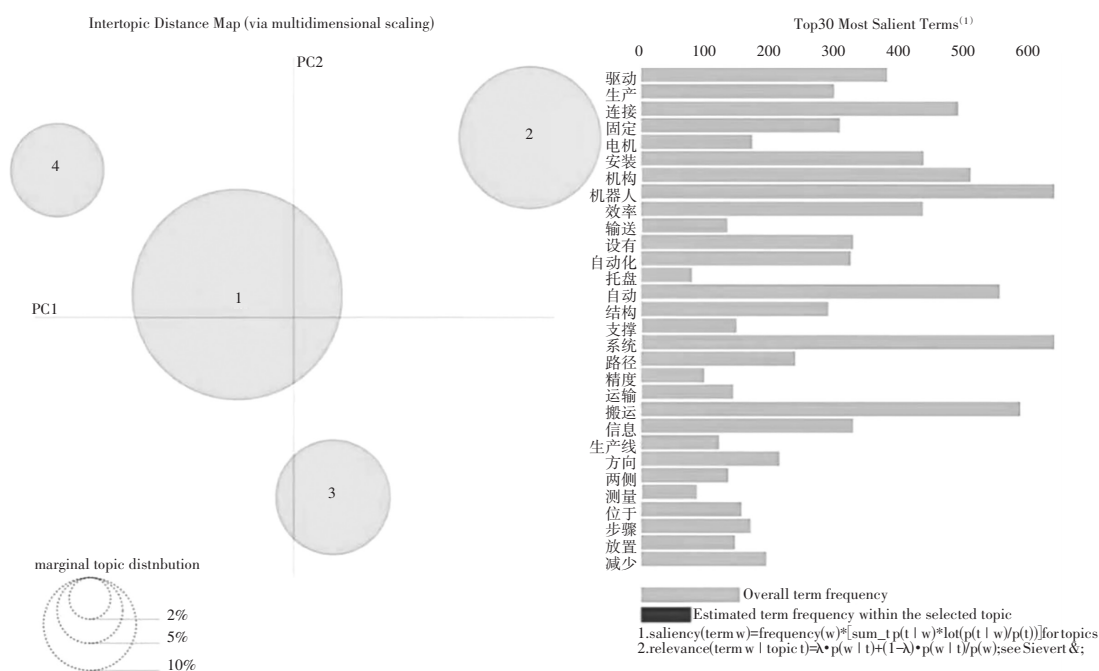
基于划分主题和物流机器人产业链结构对聚类主题进行归类,分为机械本体、通信系统、控制系统、驱动系统、自动输送系统^[42]。进一步整理得到4个阶段的主题数及每个主题具有代表性前100个技术高频关键词,考虑篇幅有限,仅展示每个主题下 Top30 代表性技术关键词,见表1。



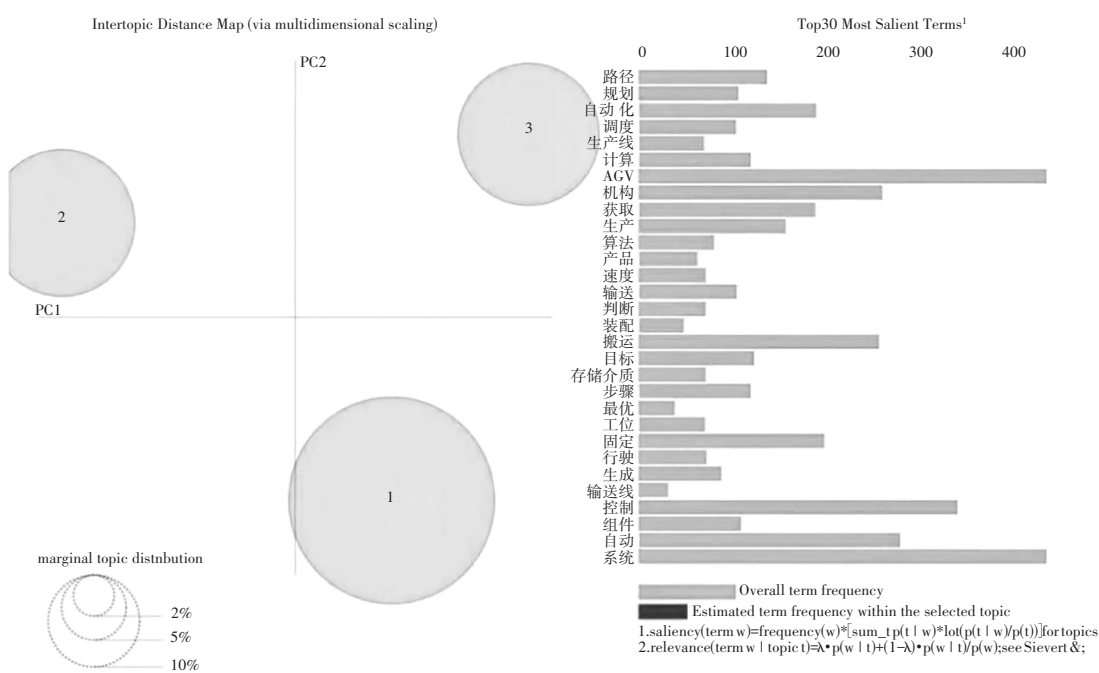
(a) 1990—2010 年 LDA 可视化



(b) 2011—2015 年 LDA 可视化



(c) 2016—2019 年 LDA 可视化



(d) 2020—2021 年 LDA 可视化

图 3 主题聚类可视化

表 1 各阶段 LDA 主题聚类(部分)

阶段	主题	关键词
1990— 2010 年	机械本体	装置、机器人、搬运、设置、控制、系统、传感器、自动、位置、驱动、检测、方向、旋转、设备、安装、连接、磁场、运动、固定、结构、信号、设置、布置、机构、单元、区域、路径、位于、AGV、配置
	通信系统	系统、语音、编码、AMR、速率、控制、数据、通信、网络、信息、传输、接收、设备、采用、信号、发送、装置、用户、模式、终端、选择、无线、信道、业务、检测、质量、减少、单元、连接、技术

续表1

阶段	主题	关键词
2011— 2015 年	机械本体	机器人、装置、连接、驱动、系统、搬运、AGV、设置、机构、安装、自动、控制、采用、结构、固定、自动化、设有、位置、技术、运动、效率、工作、电机、单元、传感器、生产、旋转、升降、码垛、简单
	控制系统	系统、控制、装置、信息、自动、数据、模块、采用、设备、连接、技术、智能、信号、接收、设置、AGV、通信、单元、控制器、检测、运行、过程、发送、无线、位置、网络、状态、机器人、步骤、控制系统
	驱动系统	传感器、磁场、元件、位置、结构、输出、方向、位于、信号、连接、磁阻、系统、磁性、电阻、AMR、平行、角度、检测、设置、电路、装置、步骤、电流、特征、芯片、单元、测量、区域、表面、配置
	通信系统	技术、语音、信息、系统、发送、用户、设备、接收、数据、AMR、通信、解决、业务、现有、传输、控制、基站、步骤、信道、计算、获取、建立、方案、领域、速率、质量、特征、时间、采用、编码
2016— 2019 年	控制系统	AGV、装置、系统、控制、位置、机器人、自动、效率、搬运、信息、设置、路径、传感器、技术、检测、运行、智能、模块、领域、设备、生产、定位、时间、安装、小车、自动化、过程、接收、获取、状态
	机械本体	连接、机器人、机构、安装、装置、固定、驱动、搬运、设置、结构、电机、设有、AGV、支撑、升降、两侧、运动、方向、控制、位于、平台、简单、支架、底部、底盘、旋转、一端、系统、滑动、领域
	自动输送系统	机器人、系统、自动、生产、自动化、效率、输送、搬运、领域、AGV、设置、设有、小车、机构、装置、托盘、放置、技术、运输、智能、减少、货物、连接、物料、设备、生产线、控制、码垛、物流、依次
	驱动系统	系统、技术、位置、自动、精度、机器人、采用、解决、信息、测量、图像、尺寸、采集、数据、快速、车辆、检测、控制、传感器、区域、方式、精确、设置、空间、建立、特征、AGV、视觉、算法、路径
2020— 2021 年	机械本体	AGV、装置、设置、连接、系统、机器人、机构、领域、搬运、技术、安装、位置、固定、控制、驱动、效率、自动、小车、信息、货物、定位、设有、智能、升降、组件、过程、设备、获取、结构、方向
	控制系统	AGV、系统、控制、路径、获取、信息、规划、技术、调度、计算、领域、位置、效率、自动、装置、步骤、设备、状态、检测、目标、小车、运行、算法、生成、判断、时间、速度、采用、数据、存储介质
	自动输送系统	系统、自动化、机器人、自动、效率、控制、装置、生产、设置、技术、智能、领域、设备、AGV、生产线、过程、机构、输送、搬运、产品、信息、工位、人工、设有、定位、装配、小车、智能化、模块、抓取

物流机器人各阶段的技术特征各不相同。1990—2010 年,物流机器人技术发展伊始,自主研发与尝试应用处于探索阶段,技术关键词多为与机械本体相关的装置、旋转、机械手等机器人基础构件,通信系统以信号传输、编码等信息传输为主,物流机器人主要发挥辅助作用,完成重复简单的工作,如辅料输送。2011—2015 年,物流机器人整体上基于机械本体与传感器、电机等结合衍生出新的技术主题驱动系统,以导航、控制为特点的控制系統受到追捧,磁阻传感器、磁传感器频繁出现表明聚焦于机器人工作准确度和精度,如角度和位置测量,码垛机器人开始被高频提及反映了物流包装环节需求攀升,技术主题与物流实践结合愈发紧密。2016—2019 年,物流机器人新增涵盖输送、搬运、自动化特点的自动输送系统,表明移动机器人更加注重满足物流输送、搬运等需求,趋于多模块发展,搬运型物流机器人渗透率加速提升,图 3(c) 显示控制系统主题所代表的气泡图在本阶段跃升最大,表明该技术主题重要性排在首位,聚焦于机器人的导航、检测等精准控制模块,同时与驱动系统相关的视觉、算法、图像等词首次涌现,AI 技术开始渗透传感器,提高 AGV 等设备车人机交互效率成为关注点,使得仓库作业单元和辅助设备的信息交互和自动化控制能力增强,仓储流通覆盖扩面拓深。2020—2021 年,物流机器人技术特征呈现稳定发展的趋势,机械本体、控制系统等日趋智能化和成熟化,自动输送系统中以输送、搬运、装配为主的智能模块与

物料搬运装置紧密联系。

整理各阶段技术关键词,计算各主题下关键词权重,因篇幅有限 4 个阶段每个主题取前 10 个示例,如表 2。从技术关键词变化来看,早期阶段,物流机器人技术以装置为主,致力于机械本体研发;第二阶段,物流机器人技术逐步过渡到控制系统、驱动系统运行,控制系统的优势技术体现于控制器,驱动系统的技术特征呈现于传感器;第三阶段,输送、码垛等技术关键词权重上升,可能与物流、电商行业深度融通相关,物流机器人创新应用于生产线、输送线等场景;第四阶段,控制系统组件技术关注点趋于位置、规划等数据化处理,搬运、分拣的智能物流机器人走向一线,未来应用场景延伸潜力可期。

表 2 各阶段 LDA 主题聚类关键词权重(部分)

阶段	主题	关键词	权重	主题	关键词	权重
1990— 2010 年	机械本体	装置	0.009 048 362	通信系统	系统	0.013 065
		机器人	0.008 528 979		语音	0.009 359
		搬运	0.007 753 043		AMR	0.008 799
		控制	0.005 900 088		编码	0.008 294
		设置	0.005 236 015		速率	0.007 521
		系统	0.004 991 879		控制	0.007 434
		位置	0.004 949 261		数据	0.006 928
		驱动	0.004 899 054		通信	0.006 468
		自动	0.004 657 867		网络	0.006 127
	机械本体	设备	0.004 185 000		传输	0.005 966
		机器人	0.013 218 68	驱动系统	传感器	0.012 506
		驱动	0.010 875 064		装置	0.007 747
		装置	0.010 812 979		磁场	0.007 525
		连接	0.010 631 034		连接	0.007 137
		机构	0.009 544 183		设置	0.006 114
		安装	0.009 110 265		系统	0.006 022
		搬运	0.009 097 531		元件	0.005 869
		AGV	0.007 631 469		结构	0.005 400
2011— 2015 年	机械本体	固定	0.006 969 227		方向	0.004 871
		设置	0.006 964 042		输出	0.004 518
		系统	0.012 189 000	通信系统	系统	0.011 391
		AGV	0.009 637 000		信息	0.007 786
		控制	0.009 421 000		数据	0.006 871
		信息	0.006 784 000		接收	0.006 793
	控制系统	自动	0.006 598 000		装置	0.006 482
		模块	0.006 302 000		控制	0.006 164
		技术	0.005 850 000		发送	0.005 940
		控制器	0.005 704 000		设备	0.005 931
		采用	0.005 624 000		采用	0.005 752
		数据	0.005 311 000		技术	0.005 677

续表2

阶段	主题	关键词	权重	主题	关键词	权重
2016— 2019 年	自动输送系统	生产	0.009 251	驱动系统	系统	0.008 379
		自动化	0.007 739		信号	0.007 476
		系统	0.007 380		自动	0.005 807
		机器人	0.007 303		电源	0.005 551
		生产线	0.007 279		数据	0.005 186
		效率	0.007 235		检测	0.004 753
		自动	0.006 180		动力	0.004 594
		码垛	0.005 455		AGV	0.004 182
		输送	0.005 143		传感器	0.003 857
		输送线	0.004 698		元件	0.003 854
	机械本体	机器人	0.016 025	控制系统	AGV	0.014 012
		机构	0.014 620		系统	0.013 393
		装置	0.013 571		控制	0.010 681
		搬运	0.012 521		信息	0.009 089
		连接	0.012 208		位置	0.008 962
		安装	0.010 435		装置	0.008 487
		驱动	0.010 260		效率	0.006 811
		设置	0.010 124		技术	0.006 574
		固定	0.009 663		自动	0.006 513
		设有	0.008 392		路径	0.006 155
2020— 2021 年	控制系统	AGV	0.013 689	自动输送系统	自动化	0.009 705
		系统	0.013 569		生产	0.008 900
		信息	0.010 901		效率	0.008 383
		控制	0.009 725		系统	0.007 513
		获取	0.008 533		自动	0.007 393
		装置	0.007 786		机器人	0.006 566
		位置	0.007 552		生产线	0.005 772
		技术	0.006 479		人工	0.005 573
		路径	0.006 075		技术	0.005 306
		数据	0.006 066		装置	0.005 305
	机械本体	设置	0.014 168			
		连接	0.012 632			
		机构	0.011 688			
		装置	0.010 927			
		AGV	0.010 552			
		机器人	0.009 781			
		固定	0.009 526			
		安装	0.009 400			
		领域	0.009 120			
		搬运	0.008 312			

(三) 技术融合趋势分析

利用技术关键词编码,构建技术关键词共现矩阵。借助社会网络分析工具 Ucinet 6.0 软件分析网络结构特征,揭示物流机器人技术融合演化情况。

1. 整体融合趋势分析

选取 4 个阶段各个主题的前 100 个技术高频词,基本容纳物流机器人所有研究内容。首先汇总各阶段每个主题的技术关键词,导入 excel 软件计算,得到词语共现关系平均值为 1.469,以此为基准将共现矩阵导入 ucinet 软件中,进行二值化处理,设定大于 1.469 的数值为 1,小于 1.469 的数值取 0,最终得到二值矩阵。计算出网络密度为 0.711,较为密集,表明 1990—2021 年的物流机器人技术融合偏向集成化趋势。

测量各个阶段物流机器人技术融合程度,分别选取 4 个时间阶段的各个主题 top100 主题词,采用聚类系数、平均距离、密度、度中心、中介中心性、特征向量中心性等指标进行技术融合分析。参照上文步骤生成各个阶段的二值矩阵,再依次导入 Ucinet 进行数据处理,得到 4 个阶段各项指标,见表 3,可见 4 个阶段网络密度整体先下降后上升,表明各领域技术融合先呈放缓而后趋密集,物流机器人技术创新表现出发散式特点。4 个阶段聚类系数值均大于 0.1,而平均最短距离均小于 10,符合小世界理论聚类系数大于 0.1 而平均距离又小于 10 的网络特点,物流机器人技术融合呈现出小世界特征,一般通过 1~2 个节点就能产生局部联系,表明技术创新扩散速度快,海量信息传播迅速,知识跨界融合共生加快。但是,网络的中介中心性值先增加后下降,表明前期技术创新依赖中间节点,交流合作较分散;后期技术创新趋于专业化和集中化,更加聚焦于特定领域技术和知识探索。网络整体沟通距离先增加后缩短,技术整体融合效率提升。总体来看,1990—2019 年点度中心性整体较低,呈倒“V”字型,物流机器人领域技术创新较分散,其中 2016—2019 年减少,表明更多节点加入技术创新网络展开竞争,这可能得益于国家出台了一系列鼓励高端智能制造装备领域发展特别是推动物流业智慧化的政策。2020—2021 年点度中心性出现增长,可能原因是掌握核心技术和资源的企业崭露头角,在技术创新网络中逐步占据主导地位。

表 3 各阶段整体融合指标

测量	1990—2010 年	2011—2015 年	2016—2019 年	2020—2021 年
Clustering Coefficient(聚类系数)	1	0.869	0.870	0.909
Avg Distance(平均距离)	1	1.379	1.403	1.210
Density(密度)	1	0.621	0.597	0.790
Degree(点度中心性)	28	55.934	52.562	60.795
Betweenness(中介中心性)	0	17.033	17.719	8.103
Eigenvector(特征向量中心性)	0.186	0.101	0.102	0.111

2. 技术主题演化路径分析

余弦相似度是一种用于度量两个向量之间相似性的度量方法,通过计算两个向量夹角的余弦值来衡量两者之间相似程度,常用于信息检索、文本挖掘、自然语言处理等领域。利用余弦相似度计算各个阶段物流机器人主题相似程度^[43],以揭示物流机器人主题演化路径。若相似度大于阈值则判断主题之间具有演化关系,结合主题词特点设定相似阈值为 0.3 进行过滤^[44],若不同阶段的两主题相似度大于 0.3,则主题间具有演化关系,属于同一主题演化路径,绘制物流机器人主题演化路径桑基图,见图 4。图中“T1_通信系统”代表第一个阶段技术主题通信系统,其他主题含义类似。

从主题相似度看,每一阶段部分技术主题是在前一阶段技术主题基础上产生,基础性、关键性技术会加速后期技术主题演化。如第四阶段的自动输送系统主题除了与第三阶段的自动输送系统相似外,同时

还与该阶段的机械本体、驱动系统主题均有较高主题相似度,主题间具有显著演化关系。在物流机器人领域,基于技术创新环境,企业越来越注重集成技术或自主研发技术,定制化机械本体如叉车车体开始涌现,同时工业车辆的伺服驱动技术应用于移动机器人领域,以及伺服控制技术进步大大降低物流机器人设计制造的成本,加快物流机器人推广应用。

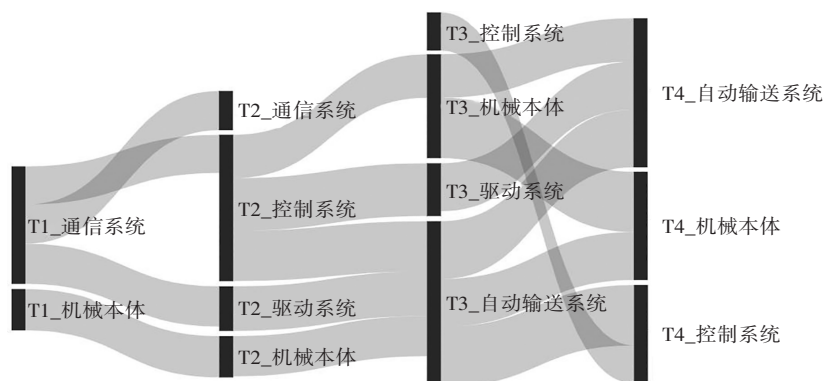


图4 物流机器人技术主题演化路径

从总体演变看,技术主题逐渐丰富化、精细化、系统化,每一阶段技术发展注重与机械本体结合,不同阶段关注的技术主题存在一定差异性,萌芽探索期聚焦于通信系统,快速成长期着墨于控制系统,高速发展期专注于自动输送系统,初步成熟期延续上一阶段主题,仍为自动输送系统。但也存在技术主题演化中断现象,如T2_通信系统,可能是技术知识简单化或技术发展不成熟。具体来看,1990—2010年,物流机器人领域技术较单薄,只形成小规模市场;2012—2015年各种政策密集出台,工业4.0、智能制造等发展趋势涌现,技术创新逐渐发散,新的技术主题如驱动系统、控制系统纷纷出现,电机、伺服控制器、驱动部件等核心配套件大肆兴起,激光雷达为主的导航方式强势渗透,物流机器人供应链细分市场逐渐形成;2016—2019年,路径、位置、检测等与导航技术相关的技术关键词涌现,可能是伴随着北斗卫星导航系统日益成熟,依托于北斗卫星定位技术的物流机器人如AGV导航精度大幅提高。主动性和柔性特点更加突出,表明物流机器人中游和下游厂商积极创新,通过研发合作推进技术集成,实现机器人技术多元化发展;2020年后,驱动系统与自动输送系统高度融合,驱动技术在物流机器人领域的重要性越来越凸显,如传感器作为驱动系统关键技术,成为创新热点。从整体演变看,物流机器人领域的发展未来趋向于更加专注上游机器人零部件,如技术创新更加着眼于控制系统、传感器等,逐步跨越硬件壁垒,向更多应用场景和更强服务能力演进。

(四) 个体融合趋势分析

基于1990—2021年top30频率技术高频词,保留与物流机器人技术相关词,剔除无关词“设有”“目标”等,最后测算25个技术高频词在不同阶段技术融合指标值,见表4。

表4 1990—2021年代表性节点技术融合指标

融合 技术 节点	1990—2010年			2011—2015年			2016—2019年			2020—2021年		
	中	中介	特征向	中	中介	特征向	中	中介	特征向	中	中介	特征向
	心	中心	量中	心	中心	量中	心	中心	量中	心	中心	量中
	度	度	心度	度	度	心度	度	度	心度	度	度	心度
AGV	28	0	0.186	90	67.207	0.146	47	6.481	0.094	\	\	\
装置	28	0	0.186	90	67.207	0.146	88	77.605	0.153	77	19.152	0.134
机器人	28	0	0.186	62	10.023	0.113	70	31.260	0.132	77	19.152	0.134
系统	28	0	0.186	59	16.063	0.105	63	21.489	0.116	46	0	0.088

续表4

融合 技术 节点	时间 阶段	1990—2010 年			2011—2015 年			2016—2019 年			2020—2021 年		
		中 心 度	中介 中心 度	特征向 量中 心度	中 心 度	中介 中心 度	特征向 量中 心度	中 心 度	中介 中心 度	特征向 量中 心度	中 心 度	中介 中心 度	特征向 量中 心度
机构		28	0	0.186	44	0	0.083	63	21.489	0.116	54	0	0.104
搬运		28	0	0.186	\	\	\	88	77.605	0.153	54	0	0.104
控制		28	0	0.186	90	67.207	0.146	70	77.605	0.153	77	19.152	0.134
连接		28	0	0.186	90	67.207	0.146	70	77.605	0.132	77	19.152	0.134
设置		28	0	0.186	70	24.273	0.122	88	77.605	0.153	77	19.152	0.134
自动		28	0	0.186	90	67.207	0.146	88	77.605	0.153	77	19.152	0.134
模块		28	0	0.186	70	24.273	0.122	45	0	0.094	77	19.152	0.134
位置		28	0	0.186	90	67.207	0.146	70	31.260	0.132	77	19.152	0.134
信息		28	0	0.186	90	67.207	0.146	70	29.644	0.132	77	19.152	0.134
安装		28	0	0.186	90	67.207	0.146	70	31.260	0.132	54	0	0.104
驱动		28	0	0.186	44	0	0.084	36	0	0.074	\	\	\
单元		28	0	0.186	70	24.273	0.122	0	\	\	54	0	0.104
传感器		28	0	0.186	44	0	0.084	45	0	0.094	46	0	0.088
检测		28	0	0.186	90	67.207	0.146	70	29.644	0.132	77	19.152	0.134
路径		28	0	0.186	62	10.023	0.113	45	0	0.094	46	0	0.088
定位		28	0	0.186	90	67.207	0.146	88	77.605	0.153	77	19.152	0.134
数据		28	0	0.186	62	10.023	0.113	70	29.644	0.132	77	19.152	0.134
智能		28	0	0.186	44	0	0.084	0	29.644	0.132	77	19.152	0.134
分拣		28	0	0.186	\	\	\	0	\	\	54	0	0.104
组件		28	0	0.186	\	\	\	36	0	0.074	\	\	\

由表4可知,控制、连接、装置技术中心度值较大,说明在物流机器人中机械本体是关键核心技术,与定位、信息为主的控制系统融合。早期AGV的中心度、特征向量中心值居于前列,但2016—2021年急剧下降,表明中国重点关注从传统叉车转移到多技术融合、多元化发展的机器人技术链,如以自主导航为核心特点的AMR机器人和复合机器人能够感知环境、灵活避障,为人机协作和柔性作业提供可能。但控制系统的关键词中心度保持平稳增长趋势,说明物流机器人技术持续关注控制器算法的通用与兼容性,如定位导航技术迭代升级,以不同导航方式匹配差异化的场景需求。

从4个阶段整体来看,特征向量中心值显示主要技术节点表现是先上升后趋于下降,表明其重要性先增加后下降,物流机器人技术创新以机械本体为核心的单一发展模式转变为技术交叉的集群模式。此外,关注到技术融合节点如搬运,在初步成熟期中心度值、特征向量中心值下降,但分拣技术却呈上升趋势,表明物流机器人萌芽期以搬运为主的产品形态逐步发展到搬运、分拣多样化的产品组合,应用场景更加丰富。

五、结论与建议

(一) 结论

利用1990—2021年中国物流机器人专利文本数据构建基于LDA主题模型的技术共现网络矩阵,提取技术主题及其关键词分析技术演变,形成整体共现网络和共现子网络。基于不同主题关键词共现频次,借助社会网络性指标剖析技术融合,可视化网络演变状况,探析不同阶段技术节点变化特点,进而提

炼物流机器人领域关键技术演化趋势。

(1)利用LDA模型主题聚类可视化和一致性得分划分的主题气泡图未出现重叠,说明划分的各阶段主题数量较合理。具体分别为机械本体、驱动系统、控制系统、通信系统、自动输送系统。

(2)由技术关键词变化可知,技术发展从以机械本体为主到机械本体与传感器技术结合,同时聚焦于机器人精准化控制,再到AI技术渗透驱动系统促进技术交叉,最后到专注于以控制器为核心控制系统技术主题。从技术融合的整体趋势看,趋于小世界态势,知识和技术跨界融汇融通效率提高,催化技术创新发散。

(3)从技术主题演变趋势看,机械本体与控制系统、自动输送系统主题是物流机器人领域关注焦点,在演化过程中与其他主题融合发展,未来技术创新可能会聚焦于传感器等上游零部件。

(4)从技术融合关键节点测量看,特征向量中心值先上升后下降,早期以单一技术为主的技术进步演变为技术交叉的多元化发展模式。

(二) 建议

基于以上研究结论,提出如下建议:

(1)承前启后强化技术主题发展。控制系统作为长期发展重要技术主题,未来企业应持续专注于机器人软硬件协同工作,优化控制软件算法,致力于机器人智能化和整体稳定性;自动输送系统稳态发展应融合驱动系统、机械本体等,技术研发应深挖运输、装配、包装等应用场景,着墨于集成传感器、控制系统,提高运动控制精度,实现物流机器人的动态调度和优化分配,以此不断完善仓库自动化、智能分拣等功能模块,实现整场物流环节全自动化,加速物流作业智能化与数字化。

(2)跨界融通深化跨领域技术融合。纵观技术演化各个阶段技术主题发展,离不开跨行业、跨领域助力,如电商行业刺激带动仓储自动化需求,AI算法嵌入传感器技术提高物流机器人感知能力。未来应支持物流机器人企业与生物医药、自动化、新材料等不同行业展开合作,运用生物仿生技术实现机器人柔性、灵活操作,利用自动化技术与智能导航达到机器人高效作业效果,结合新型材料提升结构部件耐用性等。应推进物流机器人与量子科技、人工智能等新一代技术深度融合,探索量子计算助力物流机器人路径规划、动态避障和优化物流机器人感知、决策系统场景;加速机器学习等算法应用于物流机器人,通过视觉技术与移动机器人结合更好地理解动态环境,促进柔性化导航等。推进跨领域技术共享,加速机器人生态共融共生,推动物流行业转型升级,培育物流行业新质生产力。

(3)齐心协力加速产学研合作进程。物流机器人技术创新总体趋于发散,应积极鼓励打造开放式技术创新平台,发挥协同政产学研用融合作用,引导政府、高校、科研院所、骨干企业共享数据和信息资源,促进协同创新,加强对机器人系统开发、轻量化结构设计等共性技术研发,突破科技革命和产业变革痛点和堵点,促进物流机器人领域进一步发展。同时,物流机器人领域政策扶持应有的放矢而非“大水漫灌”,完善针对性政策实施细则,增设专项资金研究项目,以推动物流机器人关键技术和新产品突破。

参考文献:

- [1] 牢牢把握在国家发展大局中的战略定位 奋力开创黑龙江高质量发展新局面[N]. 光明日报,2023-09-09(1).
- [2] 潘建屯,陶泓伶.理解新质生产力内涵特征的三重维度[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),2024(4):12-19.
- [3] 戴翔.以发展新质生产力推动高质量发展[J]. 天津社会科学,2023(6):103-110.
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部.十五部门关于印发《“十四五”机器人产业规划》的通知[EB/OL].(2021-12-21)[2023-11-28]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/28/content_5664988.htm.
- [5] 石建勋,徐玲.加快形成新质生产力的重大战略意义及实现路径研究[J]. 财经问题研究,2024(1):3-12.
- [6] 周文,许凌云.论新质生产力:内涵特征与重要着力点[J]. 改革,2023(10):1-13.

- [7] ROSENBERG N. Technological change in the machine tool industry, 1840—1910[J]. The Journal of Economic History, 1963(4):414-443.
- [8] 梁伟军,易法海.农业与生物产业技术融合发展的实证研究——基于上市公司的授予专利分析[J].生态经济,2009(11):145-148.
- [9] 黄鲁成,黄斌,吴菲菲,等.基于专利共类的信息与生物技术融合趋势分析[J].情报杂志,2014(8):59-63.
- [10] 李树刚,刘颖,郑玲玲.基于专利挖掘的感知人工智能技术融合趋势分析[J].科技进步与对策,2019(23):28-35.
- [11] 张金柱,李溢峰.专利分类序列和文本语义表示视角下的技术融合预测研究[J].情报学报,2022(6):609-624.
- [12] 何建佳,廖耀文,吴晓伟.智能汽车技术融合趋势预测及其技术竞争情报启示——以长三角地区为例[J].科技管理研究,2023(23):233-240.
- [13] 许杰,刘俊康,王崇锋.基于 DySAT 模型的时序动态技术融合预测——以中国 5G 通信领域为例[J].情报科学,2023(6):94-102,112.
- [14] 祝娜,尹俊华,翟羽佳.一种专利共类与深度学习模型结合的技术融合预测方法研究[J].情报理论与实践,2024(1):145-153.
- [15] KIM E, CHO Y, KIM W. Dynamic patterns of technological convergence in printed electronics technologies: Patent citation network[J]. Scientometrics, 2014(2):975-998.
- [16] 翟东升,张京先.基于专利技术共现网络的无人驾驶汽车技术融合演化研究[J].情报杂志,2020(4):60-66,19.
- [17] 王康,陈悦.基于突变检测的技术融合前沿及其演进分析——以生物芯片专利为例[J].情报杂志,2021(7):1-7,73.
- [18] 李慧,孟玮,徐存真.基于专利知识流网络的技术融合分析——以石墨烯领域为例[J].现代情报,2021(5):121-130.
- [19] 贾怡炜,戚湧,武兰芬.专利视角下人工智能与车联网技术融合演化研究[J].科技进步与对策,2022(22):20-29.
- [20] YUN S, CHO W, KIM C, et al. Technological trend mining: Identifying new technology opportunities using patent semantic analysis[J]. Information Processing & Management, 2022(4):102993.
- [21] 周磊,杨威,王芮.技术融合视角下新兴技术识别研究[J].科技进步与对策,2018(15):57-62.
- [22] 慎金花,闫倩倩,孙乔宣,等.基于专利数据挖掘的技术融合识别与技术机会预测研究——以电动汽车产业为例[J].图书馆杂志,2019(10):95-106.
- [23] 韩芳,张生太,冯凌子,等.基于专利文献技术融合测度的突破性创新主题识别——以太阳能光伏领域为例[J].数据分析与知识发现,2021(12):137-147.
- [24] TENG F, SUN Y, CHEN F, et al. Technology opportunity discovery of proton exchange membrane fuel cells based on generative topographic mapping[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 169:120859.
- [25] 刘立,苏丽芳,楼旭明,等.智能物流技术跨领域融合的模式及趋势研究[J].科技管理研究,2023(3):122-131.
- [26] TIRUNILLAI S, TELLIS J G. Mining marketing meaning from online chatter: Strategic brand analysis of big data using latent dirichlet allocation[J]. Journal of Marketing Research, 2014(4):463-479.
- [27] 白如江,刘博文,冷伏海.基于多维指标的未来新兴科学研究前沿识别研究[J].情报学报,2020(7):747-760.
- [28] 陈红琳,魏瑞斌,门秀萍.社会网络分析方法与研究主题的关联分析[J].情报科学,2022(9):38-46.
- [29] 北京大为知创科技有限公司.大为 innojoy 专利搜索引擎数据库[EB/OL].(2008-03-27)[2023-09-20].<http://www.innojoy.com/search/index.html>.
- [30] 李智博,胡运伦,向超.物流机器人的发展及运用研究[J].中国物流与采购,2020(15):74-75.
- [31] 徐晓璇.中美物流机器人产业发展比较研究及启示[J].物流技术,2021(4):18-22.
- [32] 袁浩.机器人在物流仓储中的应用现状与发展趋势分析[J].物流技术,2022(12):11-14,102.
- [33] 灼鼎咨询.2022 中国物流移动机器人研究报告[EB/OL].(2022-08-20)[2023-11-21].https://www.sohu.com/a/578147646_407401.
- [34] 华经观点.2022 年中国物流机器人行业分析,市场规模迅速增长[EB/OL].(2022-11-01)[2023-11-21].<https://www.huaon.com/channel/trend/847513.html>.
- [35] 马建红,王晨曦,闫林,等.基于产品生命周期的专利技术主题演化分析[J].情报学报,2022(7):684-691.

- [36] 黄裕荣,侯元元,刘彤,等.专利信息视域下纯电动汽车技术研发竞争态势研究[J].科技进步与对策,2017(4):72-77.
- [37] 中华人民共和国工业和信息化部.《智能制造发展规划(2016-2020年)》正式发布[EB/OL].(2016-12-08)[2023-11-21].https://www.gov.cn/xinwen/2016-12/08/content_514516.htm.
- [38] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.关于印发《推动物流业制造业深度融合创新发展实施方案》的通知[EB/OL].(2020-08-22)[2023-11-21].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-09/09/content_5541919.htm.
- [39] 孔令凯,杨晓萌,林超然,等.基于文本挖掘的共性技术政策文本量化及政策组合特征研究[J].科技管理研究,2023(15):35-45.
- [40] 张夏恒,肖林.基于消费者在线评论数据的快递物流服务质量评价研究[J].重庆工商大学学报(社会科学版),2023(2):66-79.
- [41] 曹锦丹,钟玉骏,邹男男,等.面向在线健康社区的融合时间特征个性化推荐算法研究[J].现代情报,2023(9):26-35.
- [42] 中商产业研究院.2023年中国物流机器人产业链图谱研究分析[EB/OL].(2023-10-12)[2023-11-25].<https://www.askci.com/news/chanye/20231012/161503269709850334630230.shtml>.
- [43] 周健,张杰,屈冉,等.基于LDA的国内外区块链主题挖掘与演化分析[J].情报杂志,2021(9):161-169.
- [44] 杨恒,王曰芬,张露.基于核心专利技术主题识别与演化分析的技术预测[J].情报杂志,2022(7):49-56.

Research on Logistics Robot Technology Convergence for New Quality Productive Forces

WANG Chuanlei, YANG Yiwan, QIN Qin

(School of Business, Anhui University, Hefei 230601, Anhui, China)

Abstract: Under the wave of new quality productive forces, China's industries are undergoing transformation and upgrading. The development of robots towards intelligence, networking, and interactivity is accelerating the logistics industry's efforts to improve quality, reduce costs, increase efficiency, and cut carbon emissions. Analyzing the technological convergence trends of logistics robots is of great significance for grasping the direction of technology and stimulating technological innovation. Based on the authorized patent data of logistics robots from the Daweisoft Global Patent Database (daweisoft.com), this paper uses the Latent Dirichlet Allocation (LDA) topic model to excavate and classify the abstract texts of patents into topics. It then explores the topic evolution paths through cosine similarity and finally uses social network indicators to uncover the technological convergence trends of logistics robots. The study finds that the technological convergence of logistics robot patents tends towards a small-world pattern. Future technological development in the logistics robot field is expected to become more integrated and diversified. The paper suggests building on previous achievements to strengthen the development of technological themes, deepening cross-domain technological integration through boundary-crossing connectivity, and accelerating the cooperation process among industry, academia, and research to promote the high-quality development of logistics robots.

Keywords: technological convergence; LDA model; social network analysis; logistics robot

(责任编辑:田妍)